

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 04 852.9

Anmeldetag: 06. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE

Bezeichnung: Monochromator für eine Röntgeneinrichtung

IPC: G 21 K, A 61 B, G 01 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sieck'.

Sieck

Beschreibung

Monochromator für eine Röntgeneinrichtung

5 Die Erfindung betrifft einen Monochromator für eine Röntgen-
einrichtung, die eine Röntgenstrahlquelle aufweist, mit einem
Kristall zur spektralen Einengung des von der Röntgenstrahl-
quelle erzeugten Röntgenstrahls. Die Erfindung betrifft au-
ßerdem eine Röntgeneinrichtung mit einem solchen Monochroma-
10 tor.

Röntgenstrahlung wird in der medizinischen und technischen
Diagnostik zur Durchleuchtung zu untersuchender Körper ver-
wendet. Die Qualität dadurch erzeugbarer Bilder hängt von der
15 Durchleuchtungsdosis und vom Energiespektrum der Röntgen-
strahlung ab. Um eine bestimmte minimale Bildqualität zu er-
reichen, muss notwendigerweise eine bestimmte minimale Strah-
lungsdosis aufgebracht werden, wobei die minimale Strahlungs-
dosis wiederum von der spektralen Energieverteilung im Rönt-
20 genstrahl abhängt. Je nach dem zu untersuchenden Körper oder
Gegenstand gibt es außerdem immer eine optimale Röntgenstrah-
lungsenergie, also Wellenlänge der Röntgenstrahlung, bei der
eine maximale Kontrastauflösbarkeit mit gleichzeitig mini-
mierter Strahlungsdosis erzielt werden kann. Um also eine
25 Mindest-Bildqualität bei gleichzeitig minimierter Strahlungs-
dosis zu erreichen, muss Röntgenstrahlung mit einem geeigne-
ten Energiespektrum verwendet werden.

Die spektrale Energieverteilung des Röntgenstrahls kann je-
30 doch auf Seiten der Röntgenstrahlquelle nur in begrenztem Ma-
ße beeinflusst werden. Zum Beispiel enthält das Energiespekt-
rum einer herkömmlichen Röntgenröhre immer Wellenlängenantei-
le abseits der für Strahlungsdosis und Kontrastauflösbarkeit
optimalen Wellenlänge. Das Energiespektrum einer Röntgenröhre
35 wird zum einen durch die Wahl des Anodenmaterials sowie durch
den Einsatz von Röntgenabsorptionsfiltern beeinflusst. Zum
anderen hängt es maßgeblich von der Röntgenspannung ab, mit

der Elektronen innerhalb der Röntgenröhre von der Kathode auf die Anode beschleunigt werden. Die Röntgenspannung gibt dabei die Obergrenze des Energiespektrums vor.

5 Veränderungen der Röntgenspannung wirken sich nicht nur auf das Energiespektrum, sondern auch auf die Strahlungs-dosis aus, da mit abnehmender Röntgenspannung der Röhrenstrom, also der Elektronenfluss innerhalb der Röntgenröhre, geringer wird. Um die Verringerung der Strahlungs-dosis bei abnehmender
10 Röntgenspannung auszugleichen, muss deswegen der Röhrenstrom erhöht werden. Der Erhöhung des Röhrenstroms sind jedoch durch den sogenannten Blooming-Effekt Grenzen gesetzt, bei dem als Folge niedriger Röntgenspannung und hoher Röhrenströme eine Vergrößerung des Brennflecks des Elektronenstrahls
15 auf der Anode der Röntgenröhre auftritt. Der Blooming-Effekt beeinflusst die Eigenschaften des erzeugten Röntgenstrahls nachteilig.

Durch geeignete Kombinationen von Anodenmaterial, Röntgenabsorptions-Filter und Röhrenspannung wird bislang in Anpassung
20 an die jeweilige Anwendung ein möglichst gut geeignetes Energiespektrum erzielt, das aber zwangsläufig nur einen Kompromiss zwischen den verschiedenen Parametern bildet.

25 Aus der EP 0 924 967 A2 ist eine Röntgeneinrichtung mit einem Monochromator auf Basis eines sogenannten Mosaikkristalls bekannt. Der Mosaikkristall ist so im Strahlengang angeordnet, dass der Röntgenstrahl der Röntgenröhre durch ihn reflektiert wird. Unter Zugrundelegung der Bragg'schen Beziehung für die
30 Brechung von Röntgenstrahlung ergibt sich daraus für eine bestimmte Reflexionsrichtung eine bestimmte spektral eingeeengte, also quasi-monochromatisierte, Röntgenstrahlung. Um Röntgenstrahlung verschiedener Wellenlängen verfügbar zu machen wird vorgeschlagen, mehrere Mosaikkristalle zur Realisierung
35 unterschiedlicher Bragg'scher Winkel vorzusehen. Die Anordnung mit mehreren Mosaikkristallen und jeweils zugehörigen Blenden bedingt zum einen eine Vielzahl von Bauteilen und ist

daher aufwändig, zum anderen bringt sie den Nachteil mit sich, dass für die Röntgenstrahlen unterschiedliche Strahlengänge vorgegeben sind, die jeweils eigens auf ein zu untersuchendes Ziel einzurichten sind.

5

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Monochromator für eine Röntgeneinrichtung anzugeben, der es ermöglicht, einen Röntgenstrahl der Röntgeneinrichtung anhand eines Reflexions-Kristalls variabel spektral einzuengen, und der gleichzeitig unaufwändig im Aufbau und in der Handhabung ist.

10

Die Erfindung löst diese Aufgabe durch einen Monochromator gemäß dem ersten Patentanspruch.



15 Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, einen Monochromator für eine Röntgeneinrichtung, die eine Röntgenstrahlquelle aufweist, anzugeben, der einen Kristall zur spektralen Einengung des von der Röntgenstrahlquelle erzeugten Röntgenstrahls aufweist, wobei der Kristall gemäß der Erfindung
20 durch eine Positioniereinrichtung derart verstellbar ist, dass dadurch das Energiespektrum der spektral eingengten Röntgenstrahlung veränderbar ist. Durch die Verstellbarkeit ergibt sich in einfacher Art und Weise die Möglichkeit, das Energiespektrum der spektral eingengten Röntgenstrahlung an
25 die Anforderungen für das jeweils zu erzeugende Bild anzupassen, ohne dazu Röntgenspannung und Röhrenstrom auf nicht optimale Werte einstellen zu müssen. Zum Beispiel kann so der Blooming-Effekt, der bei niedrigen Röntgenspannungen und hohen Röhrenströmen auftritt, vermieden werden, oder die Röntgenröhre immer mit einer für den Wirkungsgrad günstigen Röntgenspannung betrieben werden. Gleichzeitig ermöglicht die Verstellbarkeit des Kristalls die variable Anpassung des Energiespektrums an unterschiedliche Anforderungen, ohne Änderungen an der Röntgenstrahlquelle, z.B. am Anoden-Material,
30 vornehmen zu müssen.
35



In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Kristall derart verstellbar, dass der Winkel zwischen dem Röntgenstrahl der Röntgenstrahlquelle und dem Kristall veränderbar ist. Aufgrund der Bragg'schen Beziehung ändert sich in
5 Abhängigkeit von dieser Änderung des Reflexionswinkels das Energiespektrum der spektral eingengten Röntgenstrahlung. Daher stellt die Veränderlichkeit des Winkels eine einfach und unaufwändig zu realisierende Möglichkeit dar, Röntgenstrahlung mit variablen Energiespektren zu erzeugen. Bei grö-
10 ßeren Veränderungen des Winkels, die z.B. durch Kippen des Kristalls bewirkt werden können, ergeben sich Änderungen des gesamten Strahlengangs. Solche Änderungen können jedoch ohne weiteres, z.B. durch gleichzeitiges Kippen der Röntgenstrahl-
15 quelle, kompensiert werden. Das Kippen des Kristalls gleichzeitig mit der Röntgenstrahlquelle erlaubt auf einfache Weise eine kontinuierliche Variation des Energiespektrums der Röntgenstrahlung bei gleichbleibendem Strahlengang.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung
20 ist der Kristall derart verstellbar, dass er aus dem Röntgenstrahl der Röntgenstrahlquelle heraus- und hereinfahrbar ist. Durch das Herausfahren wird die Bragg'sche Reflexion des Röntgenstrahls verhindert und es stellt sich das ursprünglich belassene Energiespektrum der Röntgenquelle ein. Das Heraus-
25 fahren des Kristalls ermöglicht es in einfacher Art und Weise, sowohl spektral eingengte als auch spektral ursprünglich belassene Röntgenstrahlung wahlweise zu erzeugen. Gegebenenfalls muss auch beim Herausfahren des Kristalls Änderungen des gesamten Strahlengangs Rechnung getragen werden, indem
30 z.B. die Röntgenstrahlquelle gekippt wird, was jedoch ohne weiteres zu realisieren ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Kristall automatisch so verstellbar, dass sich ein
35 Maximalwert des Energiespektrums der spektral eingengten Röntgenstrahlung zwischen dem 0,34-fachen und dem 0,8-fachen des Maximalwerts des ursprünglichen Energiespektrums der

Röntgenstrahlquelle einstellt. Der gegenüber der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung jeweils höhere ursprüngliche Energieinhalt wird durch eine erhöhte Röntgenspannung erzeugt, wodurch der Blooming-Effekt reduziert wird. Gleichzeitig wird durch Einhalten eines minimalen Faktors von etwa 0,34 der Einfluss von Reflexen höherer Ordnung im Energiespektrum der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung minimiert. Die Reflexe höherer Ordnung liegen beim zweifachen, dreifachen, vierfachen etc. des Maximalwertes der ursprünglichen Röntgenstrahlung. Durch den angegebenen Bereich wird ausgeschlossen, dass Reflexe ab der 3. Ordnung in der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung enthalten sein können.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Figur näher erläutert. Es zeigt:

Figur 1 Röntgeneinrichtung mit Monochromator gemäß der Erfindung.

In **Figur 1** ist eine Röntgeneinrichtung 3 mit einem Monochromator 1 gemäß der Erfindung dargestellt. Der Monochromator 1 besteht aus einer Zusatzeinrichtung, die modular an die Röntgenstrahlquelle 5 angekoppelt ist, er kann jedoch genauso gut als integraler Bestandteil davon ausgeführt sein. Weitere Bestandteile des Röntgenstrahlers, wie z.B. eine Tiefenblende, sind für die Erläuterung der Erfindung unwesentlich und daher nicht dargestellt.

Die Röntgeneinrichtung 3 erzeugt spektral eingeeengte Röntgenstrahlung 11 zur Durchleuchtung eines Patienten 29, der auf einem Patientenlagerungstisch 27 liegt. Je nach Art der zu erzeugenden Aufnahme kann der Strahlengang der Röntgenstrahlung 11 jedoch beliebige Orientierungen annehmen, indem die Röntgenstrahlquelle 5 durch das Deckenstativ 25 verfahren und

gedreht wird. Dadurch kann auch die Untersuchung eines z.B. stehenden Patienten durchgeführt werden, wobei der Monochromator 1 jedoch in gleichbleibender Art und Weise eingesetzt wird.

5

Die Erzeugung von Röntgenspannung und Röhrenstrom zum Betrieb der Röntgenstrahlquelle 5 erfolgt durch einen Röntgengenerator 19, der mit der Röntgenstrahlquelle 5 über eine elektrische Leitung 23 verbunden ist. Die Steuerung des Röntgengenerators 19 erfolgt durch eine Steuerungseinrichtung 17, die mit dem Röntgengenerator 19 durch eine Steuerleitung 21 verbunden ist. Durch die Steuerungseinrichtung 17 ist es daher möglich, sämtliche Parameter eines aufzunehmenden Röntgenbildes vorzugeben.

15

Kernstück des Monochromators 1 ist ein Kristall 7, an dem der Röntgenstrahl 9 reflektiert wird. Durch die Reflexion am Kristall 7 entsteht spektral eingeeengte Röntgenstrahlung 11, deren Energiespektrum vom Winkel der Reflexion abhängig ist. Der Maximalwert des Energiespektrums der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 ergibt sich aus der Bragg'schen Beziehung als:

$$\sin \Theta = \frac{k \cdot \lambda}{2 \cdot a}$$

25

wobei Θ den Winkel zwischen Röntgenstrahl und Kristall bezeichnet, wobei k eine natürliche Zahl ist und die Ordnung der Reflexion bezeichnet, wobei λ die Wellenlänge des Maximalwertes des Energie-Spektrums der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 bezeichnet, und wobei a eine Eigenschaft des Kristallgitters des Kristalls 7 bezeichnet.

30

Die Bragg'sche Reflexion von Röntgenstrahlung an Kristallen erzeugt Röntgenstrahlung mit je einem relativ schmalen Peak im Energiespektrum für jede Reflexionsordnung k . Während ein derartiges schmales Energiespektrum für viele Anwendungen von

35

Vorteil sein mag, bringt es jedoch das Problem einer relativ geringen Strahlungsdosis mit sich. Eine Verbreiterung des Energiespektrums und damit ein Verbreitern von dessen Peak im Bereich des Maximalwerts wird daher in Kauf genommen, um eine
5 entsprechend erhöhte Strahlungsdosis zu erreichen. Aus diesem Grund wird für medizinische Röntgeneinrichtungen als Kristall 7 vorzugsweise ein Mosaikkristall verwendet. Bevorzugt wird ein Mosaikkristall aus Atomlagen von hochorientiertem pyrolytischem Graphit (HOPG) verwendet. Die Raumrichtungen der
10 Kristallgitter variieren vorzugsweise um etwa 1° .

Mosaikkristalle erzeugen aufgrund der unterschiedlichen Gitterausrichtungen ihrer Kristallpartikel, die in den Faktor a der vorangehend angeführten Bragg'schen Beziehung eingehen,
15 ein geringfügig verbreitertes Energiespektrum. Spektral eingeeengte Röntgenstrahlung mit einem derart verbreiterten Peak erreicht die in der medizinischen Diagnostik erforderlichen Strahlungsdosen.

20 Die Veränderung des Energiespektrums der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 kann durch Änderung des Einfallswinkels Θ des Röntgenstrahls 9 auf den Kristall 7 erfolgen. Zu diesem Zweck kann der Kristall 7 durch eine Positionier-Einrichtung mit einem Kipp-Mittel 13 gekippt werden. Durch das Kippen ändert sich jedoch nicht nur der Einfallswinkel Θ , sondern auch
25 der Reflexionswinkel. Dadurch ändert sich der Strahlengang der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11, so dass sich deren Fokus verschieben kann. Während dieser Effekt bei kleinen Änderungen des Winkels Θ nur eine untergeordnete Rolle
30 spielt, kann er bei größeren Änderungen dazu führen, dass der Fokus nicht mehr in der anvisierten, zu untersuchenden Region des nur schematisch angedeuteten Patienten 29 liegt. Das bedeutet, dass nach größeren Änderungen des Energiespektrums durch Kippen des Kristalls 7 die zu untersuchende Region er-
35 neut anvisiert werden müsste.

Um dies zu vermeiden, kann gleichzeitig mit dem Kippen des Kristalls 7 auch die Röntgenstrahlquelle 5 oder die gesamte Anordnung aus Röntgenstrahlquelle 5 und Monochromator 1 derart gekippt werden, dass die Veränderung des Strahlengangs kompensiert wird. Da die Röntgenstrahlquelle 5 in aller Regel ohnehin in alle Raumrichtungen voll beweglich angeordnet ist, um alle erdenklichen Körperregionen des Patienten 29 anvisieren zu können, muss zur Kompensation der Kippbewegung des Kristalls 7 lediglich eine darauf abgestimmte Kippbewegung der Röntgenstrahlquelle 5 erfolgen.

Da der Kristall 7 und die Röntgenstrahlquelle 5 nur in einer Ebene zueinander beweglich sein müssen, um den Winkel θ zu beeinflussen, ergeben sich höchst einfache Winkelverhältnisse. Die einfachen Winkelverhältnisse gestattet es, die Kompensation der Kippbewegung des Kristalls 7 entweder über eine unabhängige Ansteuerung der Kippbewegung der Röntgenstrahlquelle 5 umzusetzen, oder aber eine Mechanik zur gegenseitigen Kopplung der Kippbewegungen von Kristall 7 und Röntgenstrahlquelle 5 vorzusehen. Die Umsetzung derartiger Möglichkeiten erfordert keine erfinderischen Maßnahmen.

Die Beweglichkeit der Röntgenstrahlquelle 5 in allen Raumrichtungen kann auf herkömmliche Art und Weise realisiert werden. Der Kristall 7 kann durch ein Kipp-Mittel 13 so gekippt werden, dass sich der Einfallswinkel θ der Röntgenstrahlung 9 ändert. In der in Figur 1 gewählten Darstellung erfolgt die Kippbewegung des Kristalls 7 in einer in der Zeichnungsebene verlaufenden Ebene. Aufgrund der festen räumlichen Anordnung von Röntgenstrahlquelle 5 und Monochromator 1 kann der Winkel θ ausschließlich durch Kippen des Kristalls 7 geändert werden. In einer dazu alternativen Variante könnte jedoch der Kristall 7 im Monochromator 1 räumlich fest angeordnet und die Röntgenstrahlquelle 5 relativ zum Monochromator 1 kippbar sein. Wie vorangehend beschrieben, könnte eine weitere Variante darin bestehen, den Kristall 7 und die Röntgenstrahlquelle 5 immer gleichzeitig derart zu kippen, dass

der Strahlengang der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 raumfest belassen und damit der Fokus des Strahlengangs nicht verschoben wird.

5 Eine weitere Möglichkeit zum Verstellen des Kristalls 7 besteht darin, dass er durch eine Positionier-Einrichtung mit einem Herausfahr-Mittel 15 vollständig aus dem Röntgenstrahl 9 heraus- oder in ihn hineinzufahren. Dadurch ändert sich der Einfluss des Kristalls 7 dahingehend, dass die Bragg'sche Reflexion des Röntgenstrahls 9 abgestellt werden kann. Der Röntgenstrahl 9 wird dann in seinem durch die Röntgenstrahlquelle 5 und deren Betriebsparameter vorgegebenen ursprünglichen Energiespektrum belassen. Die Möglichkeit zum Herausfahren des Kristalls 7 erlaubt es, in Anpassung an das zu erzeugende Bild wahlweise entweder mit spektral eingeeengter oder mit ursprünglich belassener Röntgenstrahlung zu arbeiten. Durch das Herausfahren bzw. Hereinfahren des Kristalls 7 in den Röntgenstrahl 9 wird außerdem der gesamte Strahlengang verändert, was in der oben beschriebenen Weise kompensiert werden kann.

In der Steuerungseinrichtung 17 erfolgt die Einstellung der für das Energiespektrum der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 maßgeblichen Parameter. Diese sind neben der Röntgenspannung und dem Röntgenstrom gemäß der Erfindung insbesondere der Kippwinkel des Kristalls 7 und die Positionierung im oder außerhalb des Röntgenstrahls 9. Über die Leitung 23 werden die Signale der Steuereinrichtung 17 zur Steuerung der Bewegung des Deckenstativs 25 sowie zum Verstellen des Kristalls 7 und gegebenenfalls auch der Röntgenstrahlquelle 5 übertragen. Die Steuereinrichtung 17 kann dazu die Positioniereinrichtung, also das Kipp-Mittel 13 und das Herausfahr-Mittel 15, steuern. Dadurch kann die Steuereinrichtung 17 auch die Kippbewegung der Röntgenstrahlquelle 5 mit der Kippbewegung des Kristalls 7 in der oben beschriebenen Weise so koordinieren, dass der Strahlengang der Röntgenstrahlung 11 ortsfest gehalten und deren Fokus nicht verschoben wird.

Bei der Wahl des Einfallwinkels Θ des Röntgenstrahls 9 auf den Kristall 7 wird von einer möglichst hohen Röntgenspannung ausgegangen, da der Wirkungsgrad einer als Röntgenstrahlquelle 5 zu verwendenden Röntgenröhre mit dem Quadrat der Röntgenspannung zunimmt. Die erfindungsgemäße Ausnutzung der Bragg'schen Reflexion ermöglicht es daher insbesondere, Röntgenstrahlung verhältnismäßig niedriger Energien bei gleichwohl hohem Wirkungsgrad der Röntgenstrahlquelle 5 zu erzeugen. Außerdem kann durch die verhältnismäßig hohe Röntgenspannung der Blooming-Effekt, der zur Vergrößerung des Brennflecks führt, verringert werden. Um diese mit einer erhöhten Röntgenspannung einhergehenden vorteilhaften Effekte nutzen zu können, wird der Winkel Θ so eingestellt, dass der Maximalwert des Energiespektrums der monochromatisierten Röntgenstrahlung 11 nicht mehr als das 0,8-fache des Maximalwerts des Energiespektrums des Röntgenstrahls 9 beträgt.

Bei der Bragg'schen Reflexion treten neben dem Maximalwert des Energiespektrums im reflektierten Röntgenstrahl außerdem Maxima höherer Ordnung auf, was sich im Faktor k in der oben angegebenen Bragg'schen Beziehung niederschlägt. Um den Einfluss der Brechungen höherer Ordnung im reflektierten Röntgenstrahl gering zu halten, wird der Maximalwert des Energiespektrums der monochromatisierten Röntgenstrahlung 11 nicht geringer als das 0,34-fache des Maximalwerts des Energiespektrums des Röntgenstrahls 9 gewählt. Dadurch wird insbesondere gewährleistet, dass Brechungen ab der 3. Ordnung nicht in die monochromatisierte Röntgenstrahlung 11 eingehen.

Die Einhaltung der beschriebenen Ober- und Untergrenze kann durch die Steuerungseinrichtung 17 automatisch gewährleistet. Darüber hinaus kann die Steuerungseinrichtung 17 den Winkel Θ automatisch so einstellen, dass nach Vorgabe einer Röntgenspannung oder eines Maximalwerts für das Energiespektrum der spektral eingegengten Röntgenstrahlung 11 oder eines Faktors zwischen den Maximalwerten des Energiespektrums des Röntgen-

strahls 9 und der spektral eingeeengten Röntgenstrahlung 11 ein Betrieb der Röntgeneinrichtung mit optimalem Wirkungsgrad, möglichst geringem Blooming-Effekt oder unter Optimierung weiterer Kenngrößen erfolgt. Dadurch wird die Ansteuerung des Monochromators 1 und der Röntgenstrahlquelle 5 unter Ausnutzung der sich daraus ergebenden Vorteile weitestgehend automatisiert und erfordert keinerlei besondere Eingaben durch eine Bedienperson. Außerdem kann die Steuerungseinrichtung in Abhängigkeit von dem zu erzeugenden Bild den Kristall 7 automatisch aus dem Röntgenstrahl 9 heraus- oder hereinfahren.

Aufgrund der optischen Gesetze der Reflexion kann die Erfindung insbesondere in Anwendungen, die einen Fächerstrahl verwenden, z.B. Zeilenscanner in CT-Geräten, und in Anwendungen, die einen Bereich scannen, z.B. Angiographie der Extremitäten, vorteilhaft eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Monochromator (1) zur Verwendung bei einer Röntgeneinrichtung (3), welche eine Röntgenstrahlquelle (5) aufweist, mit
5 einem Kristall (7) zur spektralen Einengung eines von der Röntgenstrahlquelle (5) erzeugten Röntgenstrahls (9),
g e k e n n z e i c h n e t durch eine Positioniereinrichtung (13, 15), durch die der Kristall (7) derart verstellbar ist, dass dadurch die spektrale Zusammensetzung der Röntgenstrahlung (11) veränderbar ist.
10

2. Monochromator (1) nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der
Kristall (7) derart verstellbar ist, dass dadurch der Winkel
15 θ zwischen dem Röntgenstrahl (9) und dem Kristall (7) veränderbar ist.

3. Monochromator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der
20 Kristall (7) derart verstellbar ist, dass er aus dem Röntgenstrahl (9) heraus- und hineinfahrbar ist.

4. Monochromator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
g e k e n n z e i c h n e t durch eine Steuerungseinrichtung (17), durch die die Positioniereinrichtung (13, 15) automatisch steuerbar ist.
25

5. Monochromator (1) nach Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
30 Steuerungseinrichtung (17) die Positioniereinrichtung (13, 15) in Abhängigkeit von der Röntgenspannung der Röntgenstrahlquelle (5) steuert.

6. Monochromator (1) nach Anspruch 4,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Steuerungseinrichtung (17) die Positioniereinrichtung (13, 15) in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Maximalwert des E-

nergie-Spektrums der spektral eingengten Röntgenstrahlung
(11) steuert.

7. Monochromator (1) nach Anspruch 4,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
Steuerungseinrichtung (17) die Positioniereinrichtung (13,
15) in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Faktor zwischen dem
Maximalwert des Energie-Spektrums des Röntgenstrahls (9) und
dem Maximalwert des Energie-Spektrums der spektral eingeng-
10 ten Röntgenstrahlung (11) steuert.

8. Monochromator (1) nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der Fak-
tor im Bereich zwischen 0,34 und 0,8 liegt.

15

9. Röntgeneinrichtung (3), die einen Monochromator (1) nach
einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

Zusammenfassung

Monochromator für eine Röntgeneinrichtung

- 5 Die Erfindung betrifft einen Monochromator (1) zur Verwendung bei einer Röntgeneinrichtung (3) sowie eine Röntgeneinrichtung (3) mit einem solchen Monochromator (1). Die Röntgeneinrichtung (3) weist eine Röntgenstrahlquelle (5) auf und der Monochromator (1) einen Kristall (7) zur spektralen Einengung
- 10 eines von der Röntgenstrahlquelle (5) erzeugten Röntgenstrahls (9). Gemäß der Erfindung weist der Monochromator (19) eine Positioniereinrichtung (13, 15) auf, durch die der Kristall (7) derart verstellbar ist, dass dadurch die spektrale Zusammensetzung der Röntgenstrahlung (11) veränderbar ist.
- 15 Z.B. kann der Kristall (7) derart verstellbar sein, dass dadurch der Winkel θ zwischen dem Röntgenstrahl (9) und dem Kristall (7) veränderbar ist, oder derart, dass er dadurch aus dem Röntgenstrahl (9) heraus- und hineinfahrbar ist.

20 FIG 1

